



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 55 969 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 199 55 969.4  
㉔ Anmeldetag: 19. 11. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 31. 5. 2001

㉙ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 81 C 1/00**  
C 09 J 179/08  
C 08 L 63/00  
C 08 L 79/08  
H 01 L 21/3205

DE 199 55 969 A 1

㉚ Anmelder:  
Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,  
DE

㉛ Vertreter:  
Fuchs, Mehler, Weiß, 65189 Wiesbaden

㉜ Erfinder:  
Schmitz, Felix, 55118 Mainz, DE; Nienhaus,  
Matthias, Dr., 55128 Mainz, DE

㉞ Entgegenhaltungen:

US 59 76 710  
US 53 74 503  
US 51 10 697  
US 49 60 491

JP 63-148659 A, In: Patent Abstracts of Japan;  
JP 63-274942 A, In: Patent Abstracts of Japan;  
JP 01-214840 A, In: Patent Abstracts of Japan;  
JP 02-240939 A, In: Patent Abstracts of Japan;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤ Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verwendung von Polyimid für Haftsichten und lithographisches Verfahren zur Herstellung von Mikrobauteilen

⑤7 Es wird ein lithographisches Verfahren zur Herstellung von Mikrobauteilen mit Bauteilstrukturen im Sub-Millimeterbereich beschrieben, bei dem auf eine metallische Schicht eine strukturierbare Haftsicht und auf die Haftsicht eine Schicht aus photostrukturierbarem Epoxyharz aufgebracht wird. Das Epoxyharz wird mittels selektiver Belichtung und Herauslösen der unbelichteten Bereiche strukturiert und nach dem Entfernen der Haftsicht werden aus den Zwischenräumen zwischen den Harzstrukturen die Zwischenräume mittels eines galvanischen Verfahrens mit Metall aufgefüllt. Es wurde eine Haftsicht gesucht, die für photostrukturierbare Epoxyharze, insbesondere für SU-8-Resistmaterial, geeignet ist und ein Ablösen des Resistmaterials verhindert. Erfindungsgemäß besteht die Haftsicht aus Polyimid oder einer Polyimidmischung.

DE 199 55 969 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft die Verwendung von Polyimid sowie ein lithographisches Verfahren zur Herstellung von Mikrobauteilen mit Bauteilstrukturen im sub-Millimeterbereich, bei dem auf eine metallische Schicht eine strukturierbare Haftschrift und auf die Haftschrift eine Schicht aus photostrukturierbarem Epoxiharz aufgebracht wird, das Epoxiharz mittels selektiver Belichtung und Herauslösen der unbelichteten Bereiche strukturiert wird und nach dem Entfernen der Haftschrift aus den Zwischenräumen zwischen den Harzstrukturen die Zwischenräume mittels eines galvanischen Verfahrens mit Metall aufgefüllt werden.

Bei lithographischen Verfahren werden unterschiedliche Polymere als Resistmaterialien verwendet, wobei unter Resistmaterialien solche verstanden werden, die mittels Belichtung strukturierbar sind.

PMMA als Resistmaterial ist zwar am weitesten verbreitet, hat aber den Nachteil, daß zur Herstellung von Mikrostrukturen mit Aspektverhältnis  $>10$  für die Belichtung Synchrotronstrahlung eingesetzt werden muß, was einerseits sehr zeitaufwendig und andererseits mit hohen Kosten verbunden ist.

Es wurde daher versucht, auf photostrukturierbare Resistmaterialien überzugehen, die beispielsweise mittels UV-Licht strukturierbar sind. Diese Materialien haben jedoch in der Regel den Nachteil, daß keine großen Aspektverhältnisse erzielt werden können.

Ein Resistmaterial, das sowohl große Aspektverhältnisse von beispielsweise 15 und darüber ermöglicht als auch mittels UV-Licht strukturiert werden kann, ist Epoxiharz, insbesondere ein Epoxiderivat eines Bis-Phenol-A-Novolacs, das bisher bereits in der Halbleitertechnik verwendet wurde. Dieses Resistmaterial wird als SU-8-Resistmaterial (Handelsname der Shell Chemical) verwendet, das beispielsweise in J. Micromechanics, Microengineering 7 (1997) S. 121-124 beschrieben wird. Große Aspektverhältnisse können dadurch hergestellt werden, daß aufgrund der Vernetzung bei der Belichtung eine Veränderung des Brechungsindex dieses Materials erzeugt wird, so daß aus dem Resistmaterial Strukturen mit Wellenleitereigenschaften hergestellt werden können. Man erhält dadurch bei der Belichtung mittels Masken letztendlich senkrechte Wände, die beim Herauslösen der unbelichteten Bereiche erhalten bleiben.

SU-8-Material hat jedoch den Nachteil, daß es nicht auf allen Metallen bzw. Silizium haftet, die üblicherweise als Startschichten für galvanische Abscheidungsverfahren bzw. als Trägermaterialien verwendet werden.

Während SU-8 auf Aluminium gut haftet, hängt die Haftung auf Gold bzw. Nickel von der Größe der Mikrostruktur, d. h. von den lateralen Abmessungen des Mikrobauteils, ab.

Bei Kupfer, Silber und Chrom ist die Haftung weniger gut, so daß eine Haftschrift zwischen dem Metall und dem SU-8-Resistmaterial erforderlich ist.

Aus Proc. SPIE Vol. 3680B-65 Paris, France, 30. März bis 1. April 1999 "Micromachining and Microfabrication" mit dem Titel "Design and realization of a penny-shaped micromotor" von M. Nienhaus et al. ist es bekannt, zwischen der Kupferstartschicht und dem SU-8-Material ein Haftvermittler (Bonding agent), beispielsweise Hexamethyldisilazan (HMDS), vorzusehen, was jedoch den Nachteil hat, daß der Haftvermittler besonders dünn ist und hierdurch die Haftung nicht in allen Fällen zufriedenstellend ist.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Haftschrift zu finden, die für photostrukturierbare Epoxiharze, insbesondere für SU-8-Resistmaterial, geeignet ist und ein Ablösen des Resistmaterials verhindert. Es ist auch Aufgabe der Erfindung, ein lithographisches Verfahren zur Herstellung von

Mikrobauteilen bereitzustellen, bei dem keine Haftungsprobleme bezüglich des Resistmaterials auftreten.

Es hat sich überraschend herausgestellt, daß Polyimid oder Polyimidmischungen als Haftschrift zwischen photostrukturierbarem Epoxiharz und Metallen bzw. Silizium hervorragend geeignet ist.

Die Haftung ist auch bei Mikrobauteilen mit lateralen Abmessungen im mm- und cm-Bereich gut. Die Polyimid-Haftschrift läßt sich mit geringer Dicke von unter  $1\text{ }\mu\text{m}$  mit bekannten Verfahren, wie z. B. spin coating, aufbringen.

Hierzu werden auf die Metallschicht sogenannte Precursor-Materialien aufgebracht, die anschließend einer Wärmebehandlung unterworfen werden, wodurch sich die gewünschten Polyimide ausbilden.

Als Polyimide bzw. photostrukturierbare Polyimide kommen solche in Frage, die in TRIP Vol. 3, Nr. 8, August 1995, S. 262-271, "The Synthesis of Soluble Polyimides" von Samuel J. Huang und Andrea E. Hoyt sowie in SPIE Vol. 1925, S. 507-515 "Base-Catalyzed Photosensitive Polyimide" von Dennis R. McKean et al. beschrieben werden. Mischungen dieser Polyimide sind ebenfalls als Haftschrift geeignet.

Das lithographische Verfahren zur Herstellung von Mikrobauteilen sieht vor, daß eine Haftschrift aus Polyimid oder eine Mischung von Polyimiden, gegebenenfalls mit Zusätzen von Haftzusätzen oder Photoinitiatoren, verwendet wird. Da die Metallschicht, auf der das Epoxiharz über die Haftschrift aufgebracht wird, gleichzeitig die Startschicht für den nachfolgenden galvanischen Abscheidungsprozeß darstellt, müssen diejenigen Bereiche, wo Metalle abgeschieden werden sollen, freigelegt werden. Hierzu gibt es zwei bevorzugte Ausführungsformen.

Gemäß der ersten bevorzugten Ausführungsform werden nach der Strukturierung des Epoxiharzes die freiliegenden Bereiche der Haftschrift zur Freilegung der metallischen Startschicht mittels Plasmaätzen entfernt.

Gemäß der zweiten Ausführungsform wird als Polyimid ein photostrukturierbares Polyimid verwendet.

Weitere bevorzugte Verfahrensschritte sehen vor, daß die Haftschrift aus photostrukturierbarem Polyimid vor dem Aufbringen des Epoxiharzes selektiv belichtet wird und die unbelichteten Bereiche entfernt werden, daß anschließend das Epoxiharz vollständig auf die Haftschrift aufgebracht wird, daß im wesentlichen diejenigen Bereiche des Epoxiharzes belichtet werden, unter denen sich die Haftschrift befindet, und daß anschließend die unbelichteten Bereiche des Epoxiharzes zur Freilegung der Metallschicht entfernt werden.

Dies setzt voraus, daß die Belichtungen sowohl der Haftschrift als auch der Resistschicht aus dem Epoxiharz an denselben Stellen durchgeführt werden.

Hierzu wird für die beiden Belichtungsprozesse vorzugsweise mit derselben Maske gearbeitet.

Es besteht auch die Möglichkeit, sogenannte Laserdirektreiber zu verwenden, deren Laserstrahl über das zu belichtende Objekt geführt wird. Bei der Verwendung solcher Laserdirektreiber werden die Belichtungen der Haftschrift und der Epoxiharzschicht jeweils mit derselben Linienführung des Laserstrahls durchgeführt.

Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a-1e schematisch die Herstellung eines Mikrobauteils mittels eines lithographischen Verfahrens unter Verwendung von Polyimid-Haftschriften gemäß einer ersten Ausführungsform und die

Fig. 2a-2f ein lithographisches Verfahren gemäß einer zweiten Ausführungsform.

DE 199 55 969 A 1

3

4

In den Fig. 1a bis 1e ist das Herstellungsverfahren eines Mikrobauteils mit metallischen Bauteilstrukturen gemäß einer ersten Ausführungsform dargestellt. Auf ein Substrat 1 aus Silizium wird zunächst eine Titanhaftschiicht 2 der Dicke 100 nm aufgetragen. Auf diese Titanhaftschiicht 2 wird die Kupferstartschicht 3 mit einer Dicke von 1 µm aufgebracht.

In der Fig. 1b ist in einem weiteren Verfahrensschritt die Haftschiicht 4 aus Polyimid oder einer Polyimidmischung vollflächig aufgetragen.

In der Fig. 1c ist eine Resistschiicht 5 aus SU-8-Resistmaterial aufgetragen, die bereits mittels UV-Licht belichtet wurde, wobei die unbelichteten Bereiche entfernt wurden. In der Fig. 1c sind daher bereits freigelegte Strukturen 6a, b und c zu sehen. Am Grund dieser Strukturen 6a, b, c befindet sich aufgrund der zuvor durchgeführten vollflächigen Auftragung noch die Polyimid-Haftschiicht 4, so daß die darunterliegende Kupferstartschicht 3 nicht zugänglich ist.

Um die Kupferstartschicht 3 freizulegen, wird in einem weiteren Verfahrensschritt, der in der Fig. 1d dargestellt ist, mittels einer Plasmaabehandlung (Plasma 7) die Schicht 3 im Bereich der Strukturen 6a, b und c gezielt entfernt. Die Kupferstartschicht steht anschließend zur Verfügung, so daß die Strukturen 6a, b, c mit Metall zur Bildung eines Mikrobauteils mit metallischen Bauteilstrukturen galvanisch aufgefüllt werden können.

Der Prozeßablauf für die Herstellung der Haftschiicht 4 ist wie folgt:

Substrat 1: 5"-Si-Wafer mit aufgedampfter 100 nm Ti-Haftschiicht und darauf 500 nm Cu-Startschicht  
Dehydrieren: Im Vakuumofen bei 250°C 30 min  
Spincoaten: Bei 6250 U/min mit 2 ml "Probinide 7000" (Warenzeichen der Arch Chemical, USA) mit 24% Gewichtsanteil in NMP (n-Methyl-Pyrrolidon) gelöst  
Trocknung: 1 min bei 90°C und 3 min bei 110°C auf geheizter Platte zur Verbesserung der Vernetzung  
Belichtung: Flutbelichtung ohne Maske mit 100 mJ/cm<sup>2</sup> Gebenfalls thermische Behandlung (post exposure bake): bei 100°C bis 110°C  
Entwickeln: mit Butyl-Acetat  
Imidisierung: unter N<sub>2</sub>-Atmosphäre bei 380°C 60 min  
Resultierende Schichtdicke: ca. 800 nm

In den Fig. 2a bis 2f ist eine weitere Ausführungsform zur Herstellung metallischer Mikrobauteile schematisch dargestellt. Die Fig. 2a und 2b zeigen dieselben Verfahrensschritte wie die Fig. 1a und 1b mit der Ausnahme, daß anstatt einer Cu-Startschicht eine Au-Startschicht 3 aufgetragen wurde.

Gemäß der Fig. 2c wird eine Belichtung der Polyimidschiicht 4 mittels UV-Licht 10 (200 mJ/cm<sup>2</sup>) und einer Maske 9 durchgeführt. Es entstehen dadurch unbelichtete Bereiche 11a, 11b, 11c in der Polyimidschiicht, die in einem nachfolgenden Schritt, der in der Fig. 2d gezeigt ist, entfernt werden. Durch die so geschaffenen Polyimidstrukturen 12a, b, c werden die Flächen der Startschicht 3 freigelegt, wo die galvanische Abscheidung stattfinden soll.

Im nachfolgenden Schritt, der in der Fig. 2e gezeigt ist, wird eine Schicht 5 aus SU-8-Material aufgebracht, wobei mittels derselben Maske 9 eine Belichtung mit UV-Licht durchgeführt wird. Die unbelichteten Bereiche der Schicht 5 werden ebenfalls entfernt, so daß die Strukturen 6a, b, c freigelegt werden. Da mit derselben Maske 9 gearbeitet wurde, liegen die Strukturen 12a, b, c und 6a, b, c übereinander. Es kann somit unmittelbar der galvanische Abscheidungsprozeß angeschlossen werden, der zum Auffüllen dieser Strukturen mit Metall führt, wie dies in der Fig. 2f dargestellt ist.

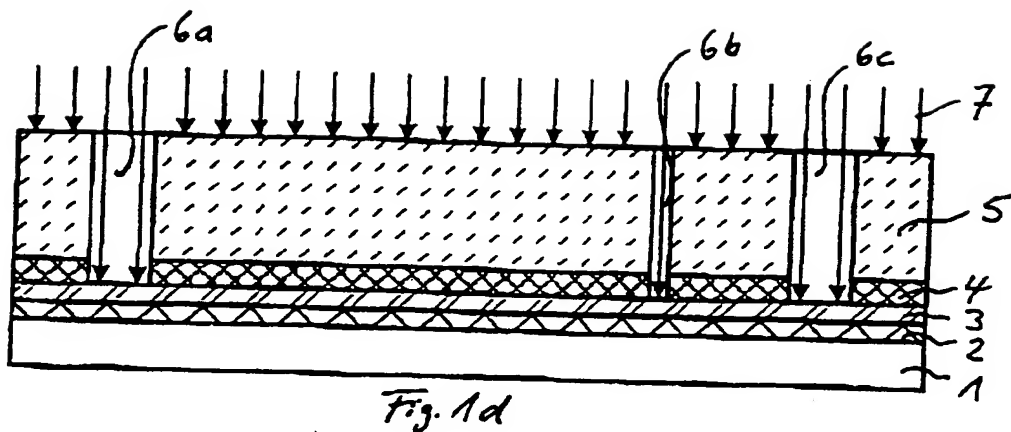
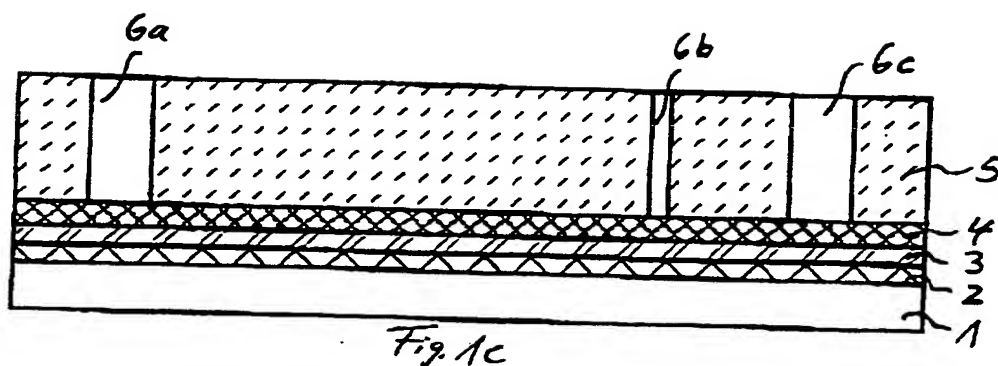
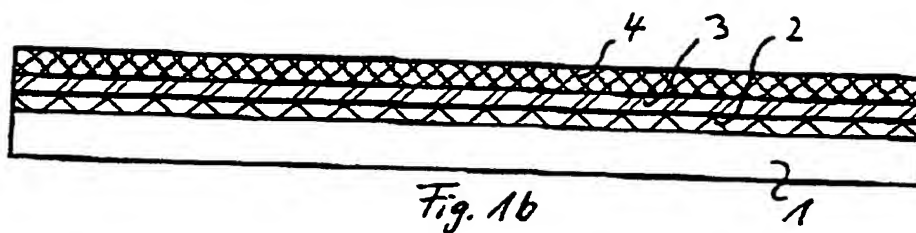
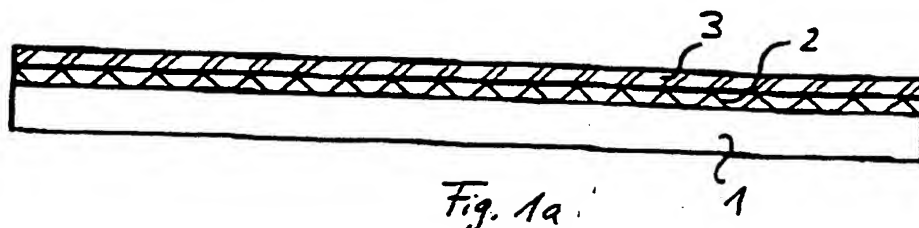
Bezugszeichen

- 1 Substrat
- 2 Titanhaftschiicht
- 3 Kupferstartschicht
- 4 Polyimidschiicht
- 5 Resistschiicht
- 6a, b, c freigelegte Struktur
- 7 Plasma
- 8 Metall
- 9 Maske
- 10 UV-Licht
- 11a, b, c unbelichtete Bereiche der Polyimidschiicht
- 12a, b, c freigelegte Polyimidstruktur

Patentansprüche

1. Verwendung von Polyimid oder Polyimidmischungen für eine Haftschiicht zwischen photostrukturierbaren Epoxiharzen und Metall oder Silizium.
2. Verwendung nach Anspruch 1, wobei photostrukturierbares Polyimid verwendet wird.
3. Lithographisches Verfahren zur Herstellung von Mikrobauteilen mit Bauteilstrukturen im sub-Millimeterbereich, bei dem auf eine metallische Schicht eine strukturierbare Haftschiicht und auf die Haftschiicht eine Schicht aus photostrukturierbarem Epoxiharz aufgebracht wird, das Epoxiharz mittels selektiver Belichtung und Herauslösen der unbelichteten Bereiche strukturiert wird und nach dem Entfernen der Haftschiicht aus den Zwischenräumen zwischen den Harzstrukturen die Zwischenräume mittels eines galvanischen Verfahrens mit Metall aufgefüllt werden, dadurch gekennzeichnet, daß eine Haftschiicht aus Polyimid oder eine Polyimidmischung verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß nach der Strukturierung des Epoxiharzes die freiliegende Haftschiicht zum Freilegen der Metallschiicht mittels Plasmaätzen entfernt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Polyimid ein photostrukturierbares Polyimid verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Haftschiicht vor dem Aufbringen des Epoxiharzes selektiv belichtet wird und die unbelichteten Bereiche entfernt werden, daß anschließend das Epoxiharz vollflächig auf die Haftschiicht aufgebracht wird, daß im wesentlichen diejenigen Bereiche des Epoxiharzes belichtet werden, unter denen sich die Haftschiicht befindet, und daß anschließend die unbelichteten Bereiche des Epoxiharzes zur Freilegung der Metallschiicht entfernt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Belichtungen der Haftschiicht und der Epoxiharzschicht mit derselben Maske durchgeführt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Belichtungen der Haftschiicht und der Epoxiharzschicht mit Laserdirektanschreiberverfahren durchgeführt werden.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



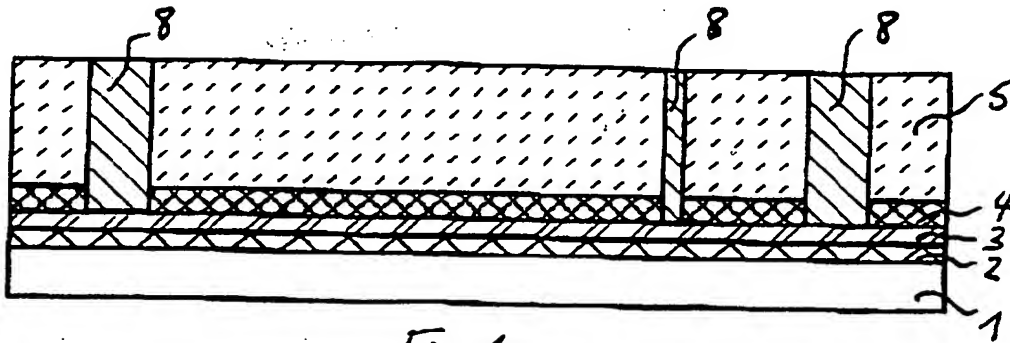


Fig. 1c

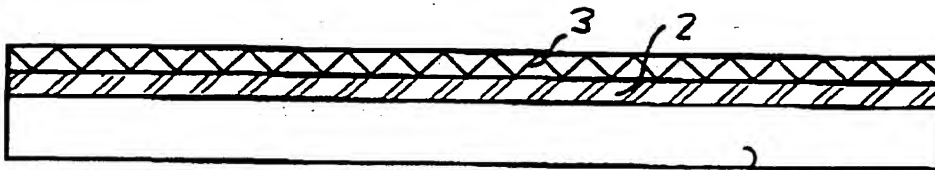


Fig. 2a

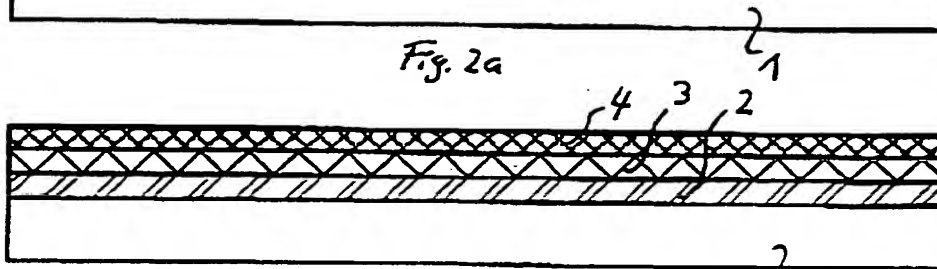


Fig. 2b

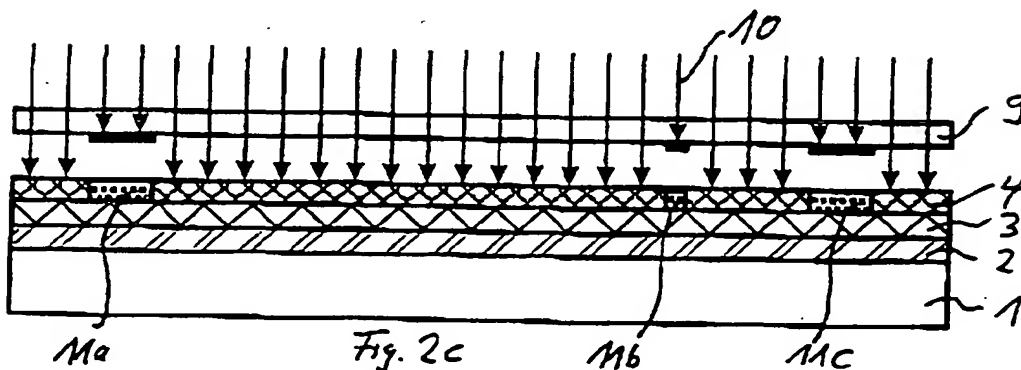


Fig. 2c

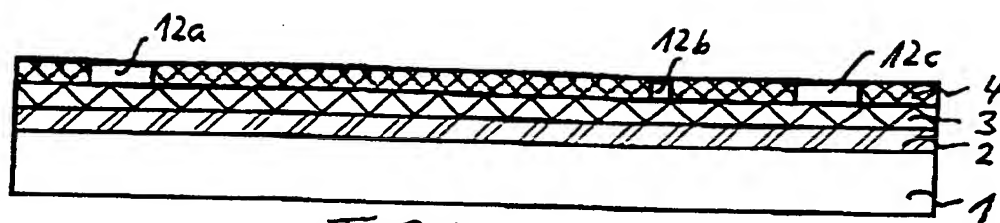


Fig. 2d

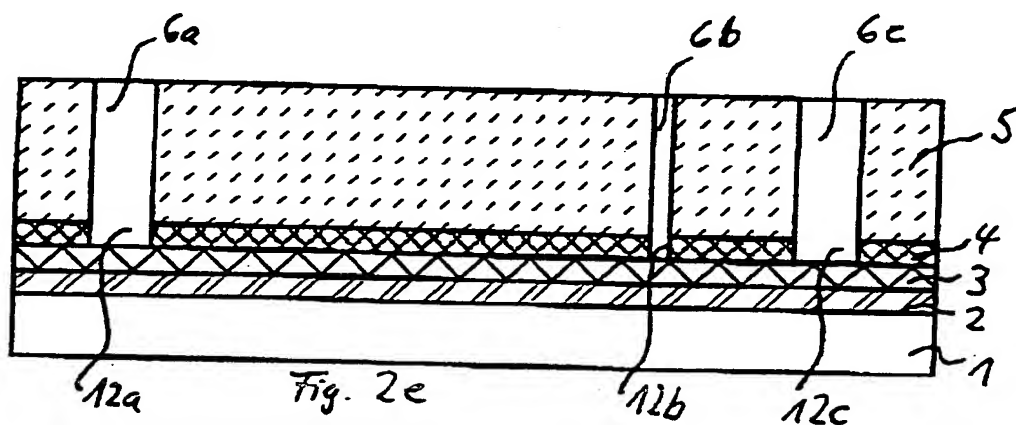


Fig. 2e

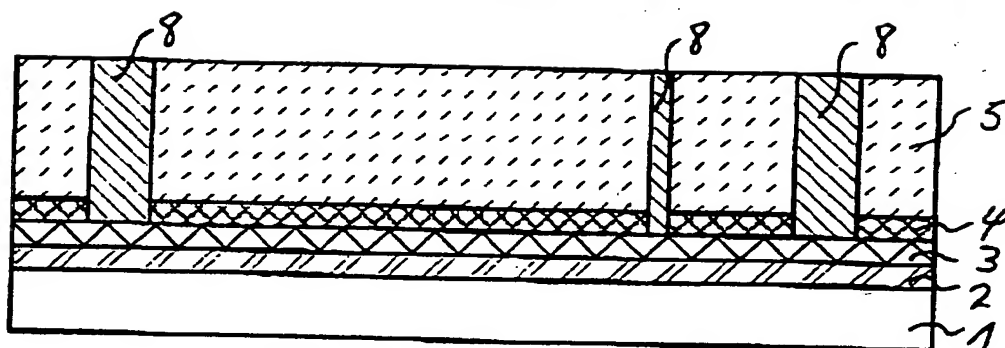


Fig. 2f

BEST AVAILABLE COPY